Guide technique

novembre 2014

CONSTRUCTION EN OSSATURE BOIS ET REMPLISSAGE EN MAÇONNERIE

Bâtiments parasismiques et paracycloniques à 1 ou 2 niveaux

ENTREPRENEURS du Monde

CRAterre ENSAG

	Introduction	3
1.	Principe constructif	4
2.	Principes parasismiques	5
3.	Implantation du bâtiment	8
4.	Fondations	9
5.	Soubassement	12
6.	Ossature bois	14
7.	Remplissage des murs	19
8.	Charpente	20
9.	Couverture	23
10.	Sol	25
11.	Revêtements des murs	25
12.	Références bibliographiques	26

Le mode constructif décrit dans ce manuel s'inspire de l'architecture traditionnelle haïtienne en ossature bois : les "*kay peyi*" des zones rurales ou les fameuses maisons "*gingerbread*" plus luxueuses des grandes villes. De manière générale ces constructions ont beaucoup mieux résisté au séisme du 12 Janvier 2010 en Haïti, surtout, n'ont pas fait de victimes. Forts de ce constat, différents acteurs haïtiens (autorités, ONGs, professionnels, populations) ont manifesté un intérêt particulier pour les filières et les techniques de construction valorisant ces cultures constructives dans des programmes de reconstruction de bâtiments "parasinistres" contribuant à la relance des dynamiques socio-économiques locales.

La technique de construction en ossature bois traditionnelle a été adaptée au contexte économique haïtien actuel et améliorée en tenant compte des critères parasismiques et paracycloniques. Ce développement a été mené dans le cadre d'une collaboration entre Entrepreneurs du Monde et le laboratoire CRAterre-ENSAG. Il a été conduit dans le contexte de projets pilotes menés par Entrepreneurs du Monde depuis juin 2011, relatifs à la construction de divers bâtiments dans la zone de Port-au-Prince et à la formation d'artisans maçons et charpentiers à ce mode de construction.

Le mode constructif développé a été validé par le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) le 4 Mai 2012 conformément au dossier remis par Entrepreneurs du Monde le 20 avril 2012.

Ce document constitue une première version destinée à évoluer afin de l'adapter en fonction des utilisateurs et des conditions du terrain et à être discuttée en concertation avec les divers acteurs.

Notamment, ce manuel devra tenir compte de l'avancement des recherches menées en France dans le cadre du projet ReparH (2010-2014), programme de recherche ANR (Agence Nationale de la Recherche) sur la construction parasinistre et la valorisation des cultures constructives en Haïti en partenariat avec les milieux scientifique et de la recherche en Haïti. Il est mis en place dans le cadre d'une collaboration scientifique entre le laboratoire CRAterre de l'Ecole Nationale d'Architecture de Grenoble (ENSAG) et le laboratoire 3S-R de l'Université Joseph Fourier (UJF) de Grenoble.

Ce manuel est basé sur des pratiques dont de nombreuses variantes peuvent être envisagées et faire l'objet d'une validation par les organismes compétents.

A qui s'adresse ce manuel ?

Professionnels de la construction en ossature bois, ingénieurs, achitectes, techniciens, entrepreneurs de la construction, contremaîtres.

Toute personne intéressée par la construction en ossature bois et remplissage en maçonnerie.

Contenu du manuel

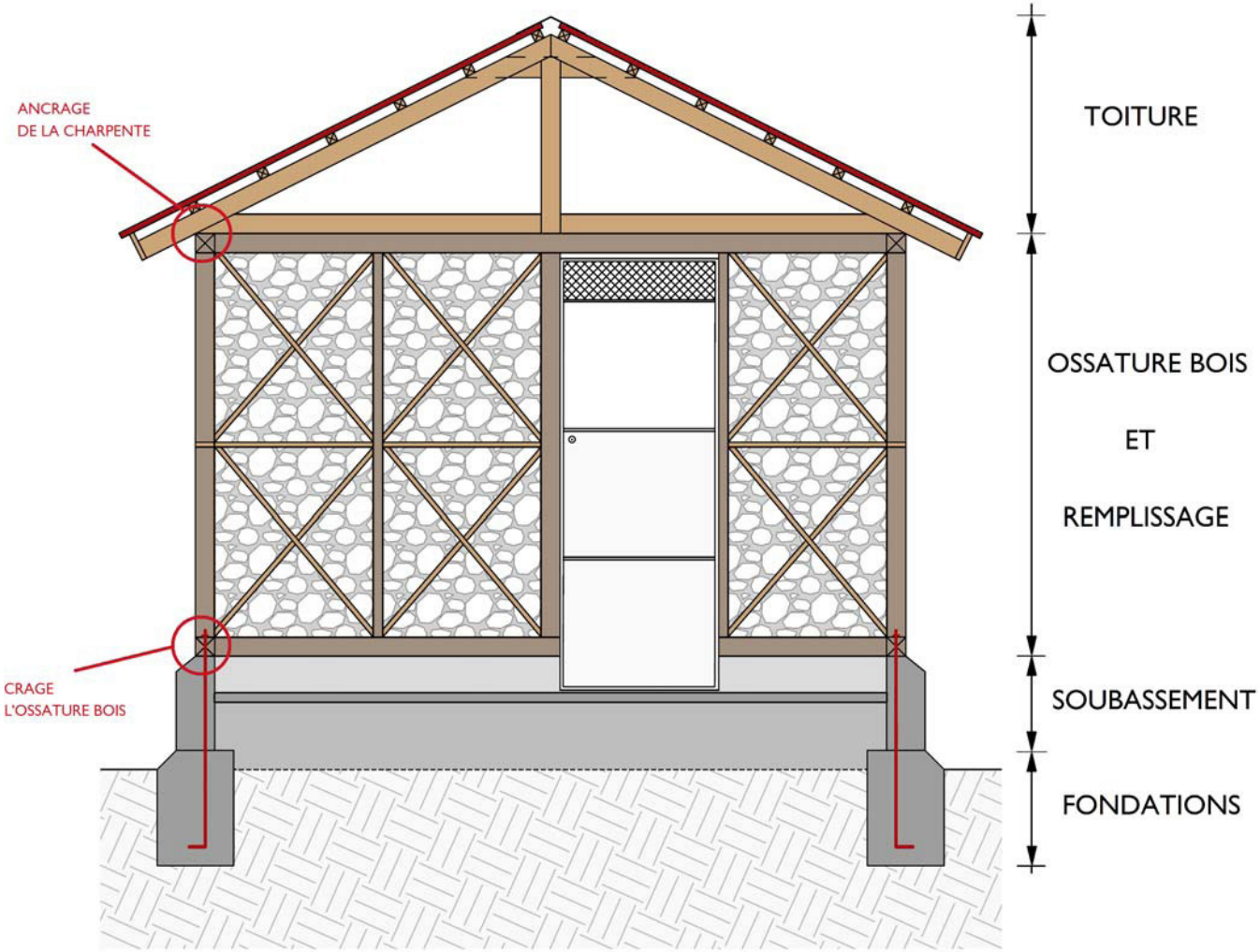
Ce manuel technique donne des règles et recommmandations pour la construction de bâtiments (logement ou petit ERP) à un ou deux niveaux en ossature bois et remplissage en maçonnerie. On y trouve plus précisément :

- des principes et recommandations architecturales et techniques générales sur le mode constructif ;

- des règles et recommandations de mise en oeuvre.

1. Principe constructif

Le système constructif présenté dans ce manuel consiste en une structure en ossature bois, chaînée et contreventée, posée sur une base rigide constituée des fondations et du soubassement. La technique tient compte des aléas sismiques et cycloniques présents en Haïti :



- La structure principale est en bois, flexible, et capable de **se déformer sans s'effondrer** en absorbant et dissipant l'énergie transmise par le séisme. Les lisses hautes et basses permettent de chaîner le bâti.
- Les détails de liaison entre les éléments de la structure bois sont essentiels pour assurer à la fois la résistance paracyclonique et la souplesse de la structure.
- La structure est **contreventée** par des croix de Saint-André et des renforts d'angles horizontaux au niveau de la lisse haute.
- L'ossature bois est ancrée aux fondations et la charpente à l'ossature bois.
- La maçonnerie de remplissage des murs (pierres, débris de béton, briques) est confinée dans des petits triangles évitant la chute dangereuse de pans entiers de murs.

Par ailleurs, la technique constructive tient aussi compte du risque lié à l'utilisation du bois (pourrissement et xylophages) en protégeant l'ossature bois de l'humidité à travers plusieurs détails (surélévation de l'ossature, solin pour éloigner l'eau de la structure).

Fondations et soubassement

Ceinture basse et poteaux

Ceinture haute

Charpente et Croix de Saint-André

Remplissage et couverture

Bâtiment fini

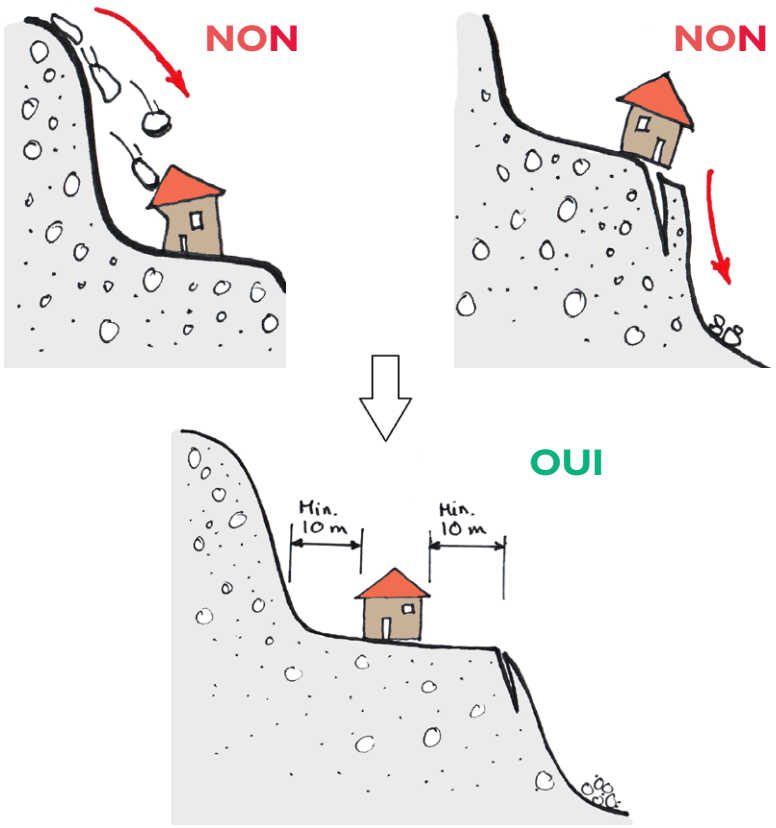
Un bâtiment parasismique est un bâtiment qui permet **la sauvegarde du plus grand nombre possible de vies humaines** en cas de secousses correspondant au niveau d'action sismique défini par la réglementation pour une zone donnée. Ce principe s'applique pour les types de bâtiments concernés par ce guide : habitations ou établissements recevants du public (ERP) (bâtiments scolaires, dortoirs, centres de santé communautaires).

Le **risque sismique** est fonction de l'**aléa sismique** (de sa probabilité d'advenir et de son intensité potentielle) et de la **vulnérabilité des enjeux** exposés (vies humaines, constructions, etc.). Afin de réduire l'impact de l'événement, il convient d'avoir une **démarche globale de conception parasismique** pour les constructions qui seront implantées sur la zone concernée. Elle doit s'appuyer sur 4 points :

- Un bon **choix de site** et une bonne **implantation** du bâtiment sur le terrain et par rapport à son environnement ;
- Une **conception** architecturale qui intègre l'une ou l'autre des dispositions techniques du génie parasismique et/ou des cultures constructives parasismiques qui ont fait leurs preuves ;
- Une bonne **exécution**, c'est-à-dire une mise en œuvre soignée qui respecte les règles de l'art, d'où l'importance d'avoir des professionnels compétents et qualifiés ;
- Des **matériaux** de bonne **qualité,** adaptés au système constructif et à l'architecture du bâtiment concerné.

2.1. Choix du site

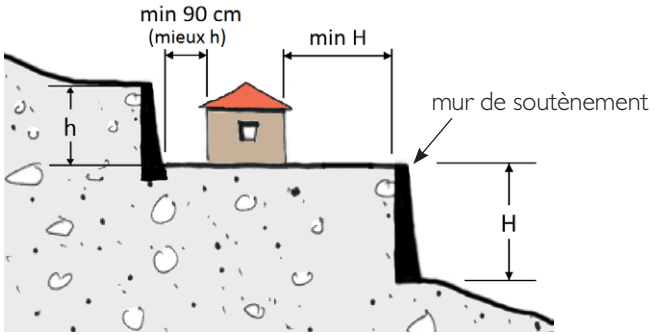
La plupart des gens n'ont pas d'autres alternatives que de construire dans des zones qui ne sont pas toujours idéales. Cependant, lors du choix du terrain et du **lieu d'implantation du bâtiment**, il convient de respecter certaines recommandations en tenant compte des **contraintes du site**.



- Eviter de construire dans des zones inondables, dans des ravines ou sur des pentes abruptes. La pente du terrain devrait être inférieure à 15 %.

- Eviter de construire trop près d'une forte pente, dans des zones d'éboulements, ou au bord de falaise. Respecter une distance de 10 mètres entre le bâtiment et une pente abrupte. Si cela n'est pas possible envisager de stabiliser le talus par un mur de soutènement.

- Vérifier que les murs de soutènement sont de bonne qualité et éviter de construire trop près d'un mur de soutènement. Respecter une distance minimale de la hauteur du mur depuis le mur de soutènement en contrebas et de 90 cm depuis le mur de soutènement arrière.



- Tenir compte de la vulnérabilité des bâtiments alentours, et s'éloigner suffisamment des bâtiments à risques (d'une distance égale à la hauteur de ces bâtiments).

- Eviter de construire sur des terrains instables, des sols meubles ou des zones marécageuses.

De manière générale, la forme et la volumétrie du bâtiment doit être aussi **simple**, **compacte**, **symétrique** et **régulière** que possible.

Voici quelques recommandations :

- **Forme** : Privilégier les formes de plan simples (carré, rectangle). Eviter les formes en "L", "U" ou autres formes complexes. Si nécessaire, subdiviser le bâtiment en rectangles ou carrés indépendants.
- **Proportion** : La longueur du bâtiment ne doit pas dépasser trois fois sa largeur.
- **Parois** : Une paroi ne devrait pas être trop longue avant de croiser une paroi perpendiculaire (< 5,50 m, distance indicative). Il est recommandé de subdiviser le bâtiment en plusieurs pièces avec des murs de séparation porteurs en les répartissant de manière équilibrée.

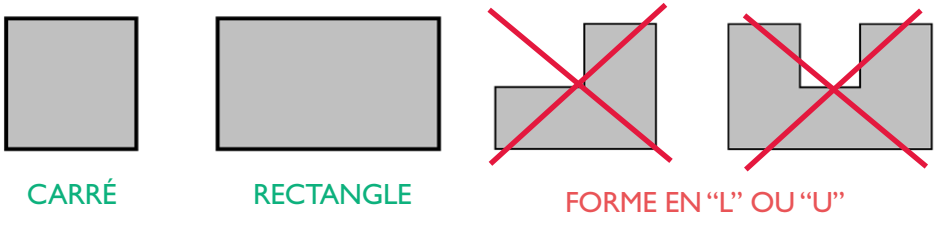
  Des contreforts placés régulièrement et éventuellement des chaînages hauts permettent de réaliser des pièces de plus grandes dimensions. Ces spécificités techniques doivent être validées par les organismes compétents.
- **Etage** : L'étage doit couvrir la totalité de la surface du rez-de-chaussée afin de créer des volumes compacts et symétriques. Si nécessaire faire deux bâtiments distincts sans oublier un joint de séparation suffisant.

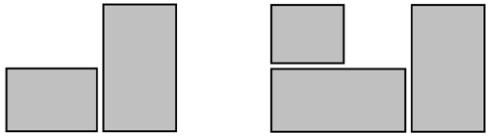
  Le centre de gravité du bâtiment doit être le plus bas possible

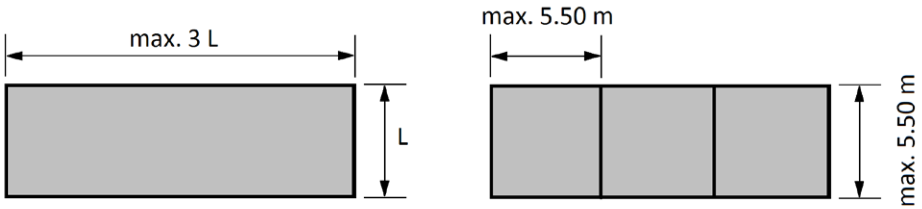
  Garder un système constructif homogène par niveau et si deux systèmes sont utilisés le système le plus lourd doit se trouver au niveau du rez-de-chaussée.
- **Ouvertures** : La surface des ouvertures doit être inférieure à 25% de la surface de la paroi et la longueur totale des ouvertures inférieure à la moitié de la longueur de la paroi.

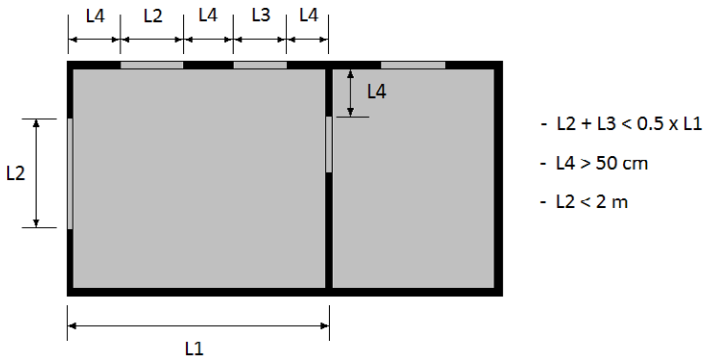
  Ne pas placer d'ouverture dans les panneaux d'angles et les panneaux adjacents aux murs de refends. Les ouvertures doivent être placées à un minimum de 50 cm des angles et espacées de 50 cm minimum.

  Une ouverture peut traverser plusieurs panneaux mais sa largeur de doit pas excéder 2 m.







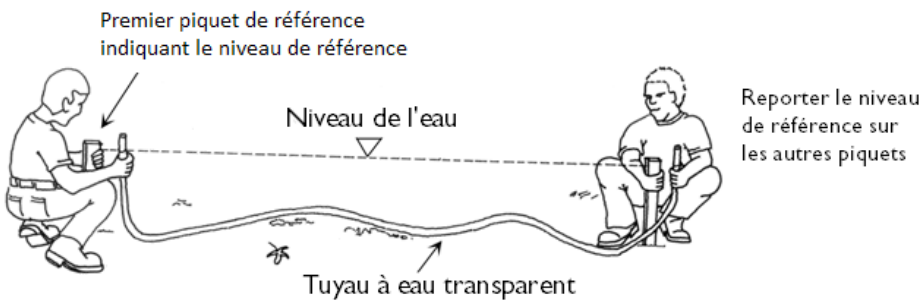


3. Implantation du bâtiment

3.1. Préparation du terrain

Avant de commencer la construction, le **terrain doit être propre et nivelé**, à la fois pour l'implantation du bâtiment et pour stocker les matériaux.

- Repérer avec des piquets l'espace qui doit être préparé (emplacement du bâtiment plus 1 m de chaque côté).
- Nettoyer le terrain de la végétation et des gravats et évacuer la couche superficielle du sol. Réaliser ceci aussi pour l'espace qui servira au brassage du mortier.
- Repérer le niveau le plus bas, de préférence à l'aide d'un tuyau à eau. Vérifier la pente du terrain et niveler le terrain.



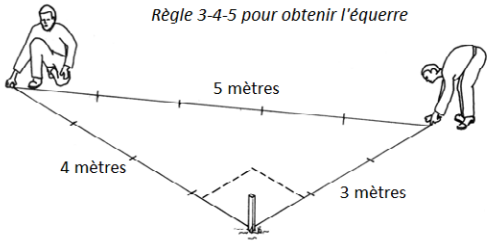
Le bâtiment ne doit pas être implanté sur un terrain en partie ou totalement remblayé, mais sur la partie déblayée. Si cela est inévitable, compacter le remblai tous les 20 cm et fouiller les fondations jusqu'au sol dur.

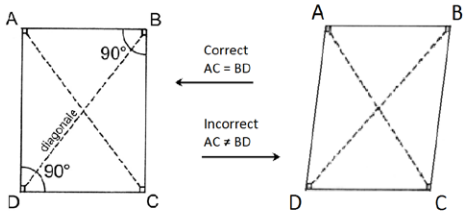
3.2. Implantation

Pour réaliser le tracé, placer une première ligne de référence avec des piquets provisoires. Placer la ligne orthogonale à la ligne de référence avec **la méthode des 3, 4, 5**.

De la même façon placer la deuxième ligne orthogonale et la dernière ligne parallèle à la ligne de référence. Vérifier les **diagonales**, les longueurs des côtés opposés devant être égales.

Règle 3-4-5 pour obtenir l'équerre

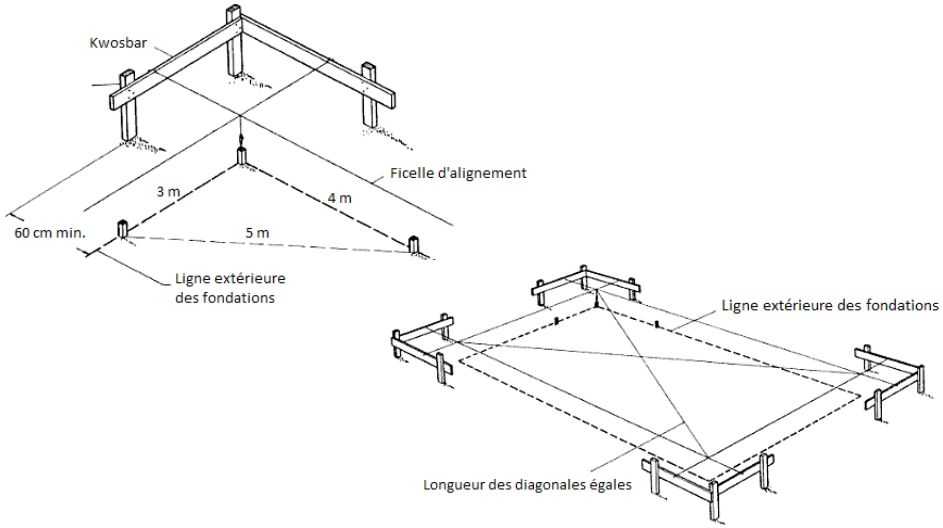




Conditions : AB = DC et AD = BC

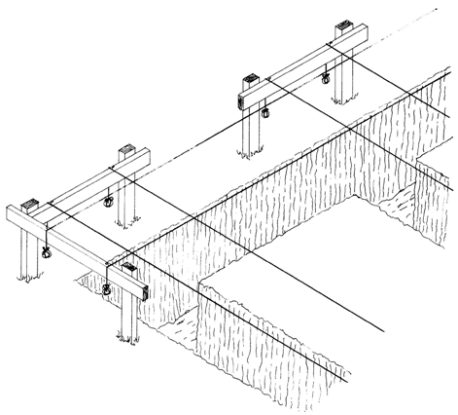
Une fois le cadre défini, installer les **chaises en bois** ("**kwosbar**") de manière à ce qu'elles soient bien stables et placer les ficelles délimitant les fondations.

Le tuyau à eau est le seul outil simple qui permette de reporter le niveau de référence sur l'ensemble des chaises (ne pas utiliser le niveau à bulle sur la ficelle).



4.1. Fouilles

Réaliser l'excavation en creusant verticalement et en respectant bien l'**alignement des fondations** pour ne pas faire des fondations plus grandes qui utiliseraient plus de matériaux. Un fil à plomb permet de bien repérer les limites sur le sol.



Ne creuser les fondations que si l'on est sûr de les reboucher avant la pluie. Si cela n'est pas possible, il faut alors protéger le fond de fouille d'une couche de 2 cm de béton de propreté, dosé à 150 kg / m³.

4.2. Principes et dimensions

La fondation permet de **transmettre et de répartir la charge du bâtiment au terrain**. Ses dimensions dépendent de la nature du sol, de sa capacité portante.

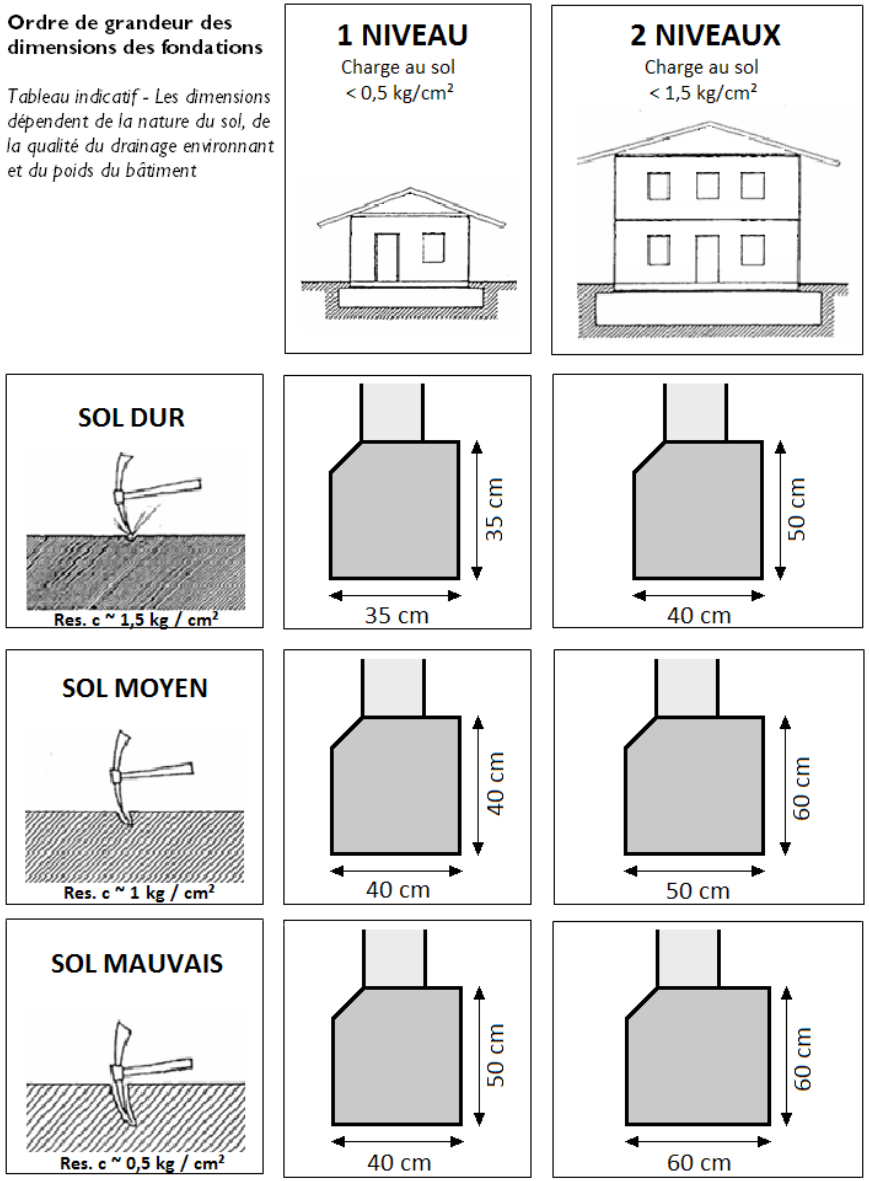
Les fondations doivent être **filantes sur tout le pourtour du bâtiment** et des murs de refend porteurs. Elles doivent être continues et ne doivent jamais être interrompues.

Pour le cas qui nous concerne, il est important de noter que les bâtiments en ossature bois de ce type sont particulièrement légers et ne demandent donc pas des fondations trop importantes.

Le tableau ci-contre donne une indication des dimensions des fondations selon le type de sol pour des bâtiments de ce type à 1 ou 2 niveaux et pour une charge centrée sur la fondation.

Deux types de fondations possibles sont développés ici : fondations en pierres et fondations en béton cyclopéen.

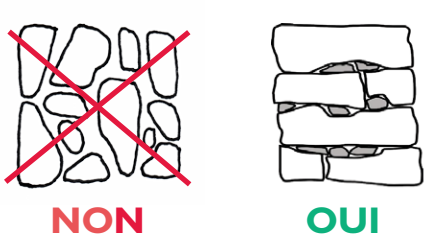
Le choix d'un type de matériau pour les fondations est fonction de sa disponibilité, de son coût et de celui de sa mise en œuvre.

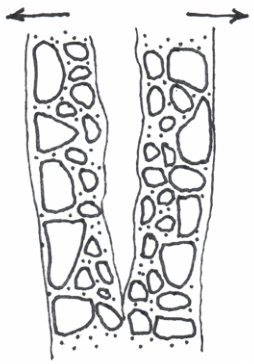


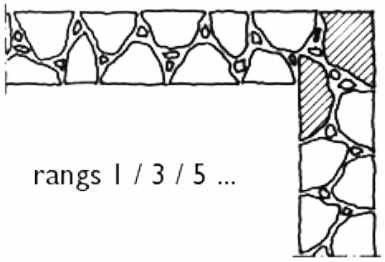
4.3. Fondations en pierres

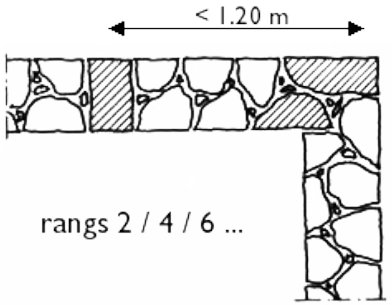
La fouille sert de coffrage. L'appareillage des pierres doit respecter certaines règles de maçonnerie assurant une bonne stabilité du mur :

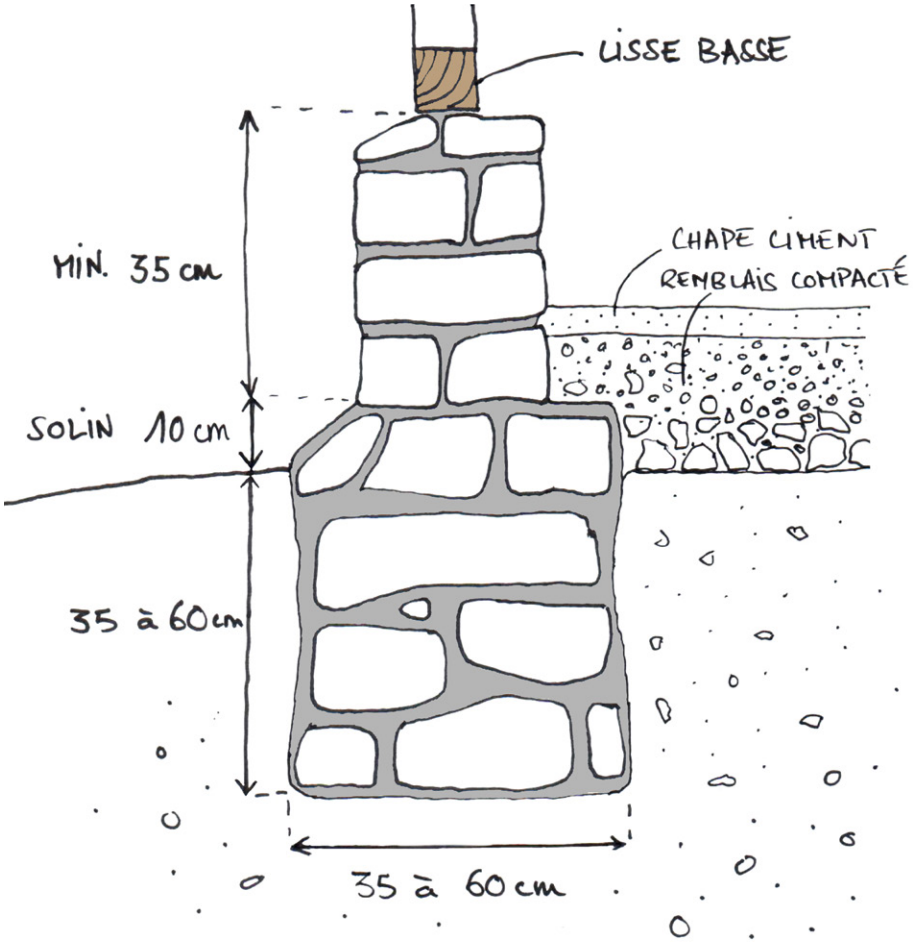
- Poser les pierres bien à **plat** pour une meilleure répartition des charges.
- Alterner les petites pierres avec les grosses pierres en **croisant les joints** afin de ne pas créer un plan de rupture central.
- Eviter les joints de mortier trop épais. **Caler les pierres** avec des petites pierres ou des éclats de pierre.
- **Croiser les pierres** d'une rangée sur l'autre dans les angles et au niveau d'un mur de séparation. On doit éviter d'avoir un joint vertical continu (appelé "coup de sabre") sur plusieurs hauteurs de pierres.
- Placer régulièrement des "**clés**" ("**maraj**"), des pierres faisant toute la largeur du mur ou pierres en "boutisse", tous les 1,20 m maximum.







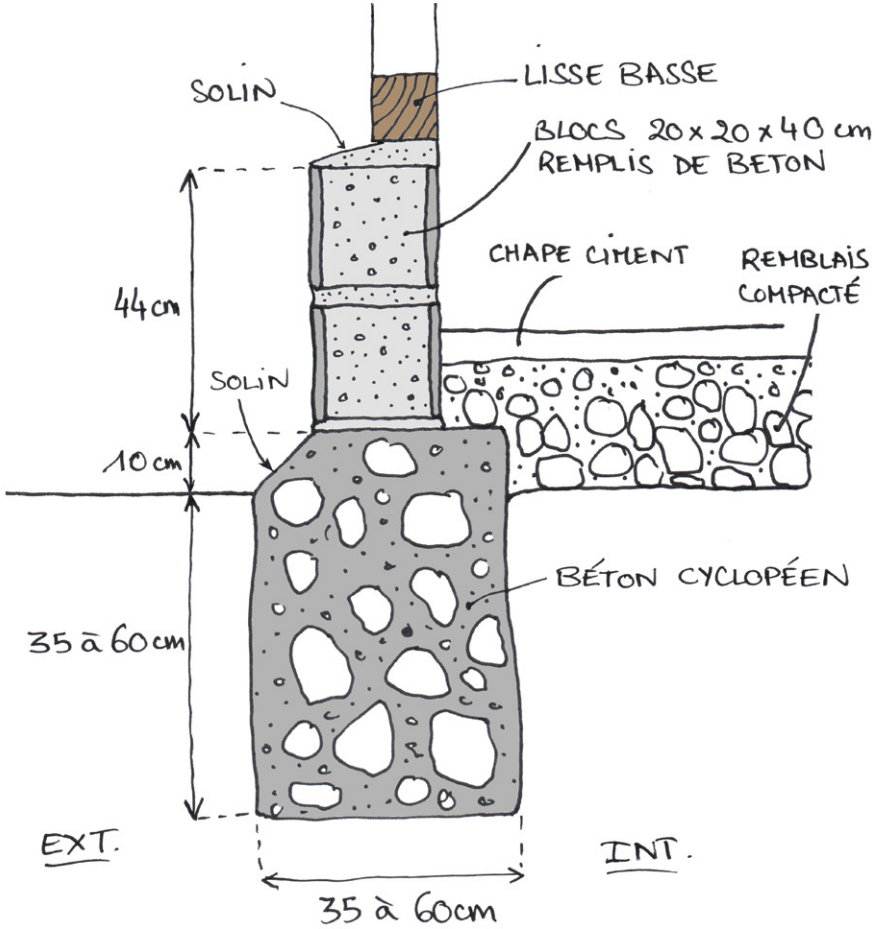




Les fondations doivent sortir de 10 cm environ au dessus du sol afin de réaliser **un solin** avec des pierres taillées pour permettre d'éloigner l'eau des fondations et de la base du mur.

L'arase supérieure doit être bien horizontale, réglée avec les ficelles d'alignement.

Les pierres peuvent être appareillées au mortier de terre, de chaux ou de ciment (300 kg / m3).



Lorsqu'on dispose de petites pierres ou de petits débris de béton, il est possible de les noyer dans un béton dosé à 250 kg / m³.

Cette solution est plus rapide que la précédente et permet d'utiliser les débris parfois présents sur place.

Le béton cyclopéen consiste en un **béton dans lequel sont noyées des pierres de dimensions variées**, permettant d'économiser du ciment. L'ensemble des agrégats doit être enrobé de mortier. Les pierres ne doivent pas être en contact les unes avec les autres. Les vides entre les pierres de plus grosses dimensions doivent être au maximum occupés par des pierres et agrégats de plus petites dimensions.

La mise en œuvre se fait en plusieurs couches où l'on dispose les pierres pour combler chaque espace vide et du béton entre chaque lit de pierres.

Les fondations sont surélevées de 10 cm environ au-dessus du sol afin de réaliser un **solin**. Coffrer de chaque côté pour réaliser cette surélévation.

La fondation doit être arrosée pendant 3 jours pour assurer une bonne cure humide et prise du béton.

Il est aussi possible de couler le béton avec les pierres déjà noyées dans le béton.

5. Soubassement

5.1. Principes et dimensions

Le soubassement est la partie basse du mur qui vient au-dessus de la fondation. Son rôle est de **protéger le reste du mur de tout contact avec l'eau**, en particulier l'ossature bois et la ceinture basse.

Les matériaux utilisés doivent pouvoir résister au poids du bâtiment tout en étant insensible à l'humidité comme :

- La pierre
- Le parpaing de ciment (bloc béton)
- La brique cuite
- etc.

La **hauteur minimum recommandée du soubassement** au-dessus du niveau du terrain est de **45 cm**.

Le soubassement doit être **chanfreiné** côté extérieur afin d'évacuer l'eau loin de la lisse basse.

Afin d'éviter que l'eau ne pénètre à l'intérieur de la maison en cas d'inondation, le sol intérieur doit être surélevé par rapport au niveau du terrain. Un minimum de 20 cm est recommandé. Le sol de la galerie doit être surélevé de 15 cm minimum et doit être au moins 5 cm plus bas que le sol intérieur.

5.2. Soubassement en pierres

La **largeur du soubassement** est définie en relation avec la résistance à la compression des maçonneries de pierres et en relation avec les principes de bonnes mises en œuvre des pierres utilisées. Dans la plupart des cas, une largeur de **30 cm minimum** satisfait à ces deux critères.

La mise en œuvre pour l'**appareillage du soubassement en pierre** doit respecter les mêmes règles que pour les fondations en pierre (cf. § 4.2). Un soin particulier doit être porté au croisement des pierres aux angles et au niveau des murs de refend, qui sont des zones très sollicitées lors d'un séisme.

Les pierres peuvent être appareillées au mortier de terre (rejointoyées à la chaux), au mortier de chaux ou au mortier de ciment.

La **pente du solin extérieur** permettant d'évacuer l'eau doit être suffisante. Selon la largeur du débord extérieur (entre 5 et 20 cm en général) cette pente aura une hauteur de 2 à 5 cm (min. 20 %).

Voici deux solutions possibles pour réaliser ce solin :

- **Solin au mortier de ciment**, réalisé après la pose de l'ossature bois qui est posée sur des plots de mortier. Il est important de **passer la truelle** sous la lisse basse pour **dégager l'arête du bois**.
- **Solin en pierres** directement réalisé lors de la mise en œuvre du soubassement. La pente doit commencer 1cm à l'intérieur de la lisse basse pour dégager l'arête du bois.

L'axe du mur posé sur le soubassement peut être excentré pour diminuer l'encombrement du soubassement à l'intérieur mais le muret dépassera d'un minimum de 5 cm à l'intérieur pour ne pas trop excentrer la charge.

5.3. Soubassement en blocs béton

Le soubassement en bloc est réalisé avec des blocs de béton creux de 15 ou 20 cm de large selon le type de bâtiment :

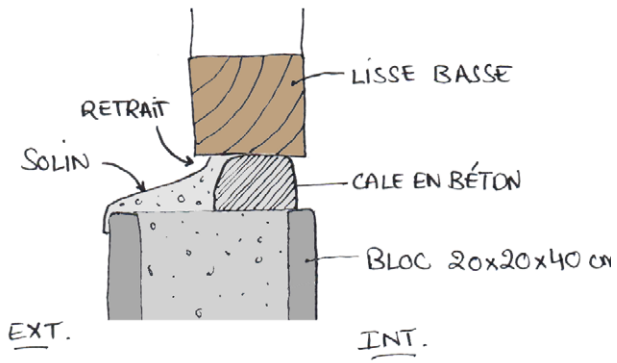
- Logements à 1 niveau : bloc 40 x 20 x 15 cm ou 40 x 20 x 20 cm
- Logements à 2 niveaux : bloc 40 x 20 x 20 cm
- Bâtiments publics (1 ou 2 niveaux) : bloc 40 x 20 x 20 cm

Soubassement en 2 ou 3 rangées, la lisse basse doit être au minimum à 20 cm au-dessus du niveau du sol fini intérieur.

Afin de pourvoir réaliser l'arase du soubassement, les blocs sont remplis avec du béton faiblement dosé à 150 kg / m^3.

Pour réaliser le solin, on peut disposer des plots de mortier ou une bande de mortier nivelée de largeur inférieure à la largeur de la lisse basse sur laquelle sera posée la lisse basse. Le solin peut être réalisé ensuite avec du mortier de ciment en dégageant bien l'arête du bois avec la truelle.

L'axe du mur peut être excentré de manière à mettre au même nu intérieur le mur et les blocs. Le solin aura une largeur de 5 à 10 cm.

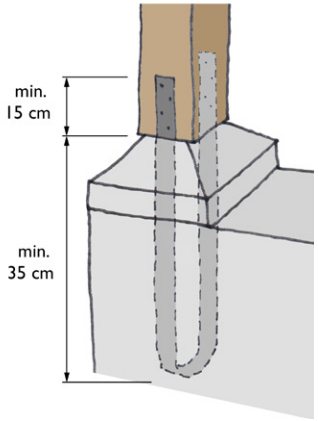


5.4. Soubassement de la galerie

Le soubassement de la galerie peut être dans la **continuité du reste du soubassement** et permettra de supporter les poteaux de la galerie. Une autre solution consiste à réaliser uniquement des **plots** en blocs, en pierres ou en terre cuite aux endroits des poteaux afin d'avoir une galerie plus ouverte.

Pour **fixer les poteaux de la galerie** au soubassement, placer sur la hauteur du soubassement ou des plots un morceau de **feuillard métallique** (gauge 20, 18 ou 16) **en U** afin de laisser 15 cm au dessus de l'arase pour fixer le poteau de chaque côté. D'autres solutions sont envisageables, telle que des "sabots métalliques" que l'on peut trouver dans le commerce.

Afin d'éloigner l'eau des poteaux, réaliser un **solin à 4 pentes**, en forme de pyramide, en veillant à ce que les arêtes du poteau soient bien dégagées.



6. Ossature bois

6.1. Principe

La structure du bâtiment en ossature en bois offre une certaine **souplesse au bâti** qui permet la **dissipation de l'énergie du séisme**. L'ossature peut bouger et se déformer sans rompre si certaines règles sont respectées. Aussi, les liaisons entre chaque élément doivent être faites de telle façon qu'elles doivent être suffisamment « résistantes » pour ne pas s'arracher et avoir une certaine souplesse pour autoriser les mouvements sans casser et s'effondrer. A contrario, vouloir trop rigidifier la structure peut être néfaste pour le bâti, car on rend le système moins souple et moins en capacité d'absorber et de dissiper l'énergie transmise par le séisme.

Ce type de bâtiment parasismique doit obligatoirement présenter **un chaînage haut** et **un chaînage bas** ceinturant le bâtiment pour assurer la stabilité de la structure et empêcher l'ouverture des murs en cas de séisme.

6.2. Choix du bois

Le bois que l'on trouve couramment en Haïti est du pin importé, généralement des Etats-Unis. Selon le fournisseur, l'origine et le type de bois, les pièces de bois peuvent être de classe C18 à C24.

On peut trouver du bois brut ou du bois préparé, traité ou non. Il est important de noter que la section du bois préparé est plus faible que celle du bois brut. Ainsi un 4"x4" préparé a une section presque 25 % plus petite qu'un 4"x4" brut.

Section nominale		Section bois préparé	
pouces	mm	pouces	mm
1"x4"	25 x 102	3/4" x 3 1/2"	19 x 89
1"x6"	25 x 152	3/4" x 5 1/2"	19 x 140
1"x8"	25 x 203	3/4" x 7 1/4"	19 x 184
2"x4"	51 x 102	1 1/2" x 3 1/2"	38 x 89
4"x4"	102 x 102	3 1/2" x 3 1/2"	89 x 89

Pour augmenter la longévité du bois utilisé dans la construction, les pièces de bois doivent être :

- Bien **sélectionnées** (le moins de nœuds possible, pas de fente, pas voilées, bon sens des fibres, humidité minimum) ;
- Bien **stockées** et **protégées** de manière à les faire sécher sans les voiler (surface plane, lattes placées entre chaque rangée) ;
- Bien **traitées** pour éviter l'attaque des termites et autres insectes xylophages.

6.3. Traitement du bois

Si le bois est déjà traité en autoclave on peut l'utiliser ainsi.

Si le bois est brut, il est alors nécessaire de le traiter avec un produit de type "Zincomat", à base de chlorure de zinc, actuellement disponible sur le marché haïtien. Une fois les poutres découpées, toutes les faces, y compris au niveau des découpes, sont badigeonnées en 2 couches. La deuxième couche doit être passée une fois la première absorbée.

Ce type de traitement est a priori moins durable que le traitement en autoclave. Dans les deux cas, il est important de signaler au client de vérifier régulièrement si le bois est attaqué ou non et de le retraiter de manière préventive au bout de quelques années (5 à 10 ans selon le type de traitement), ceci notamment pour la lisse basse.

La peinture ou la cire permet de prolonger l'efficacité du traitement du bois contre les agressions.

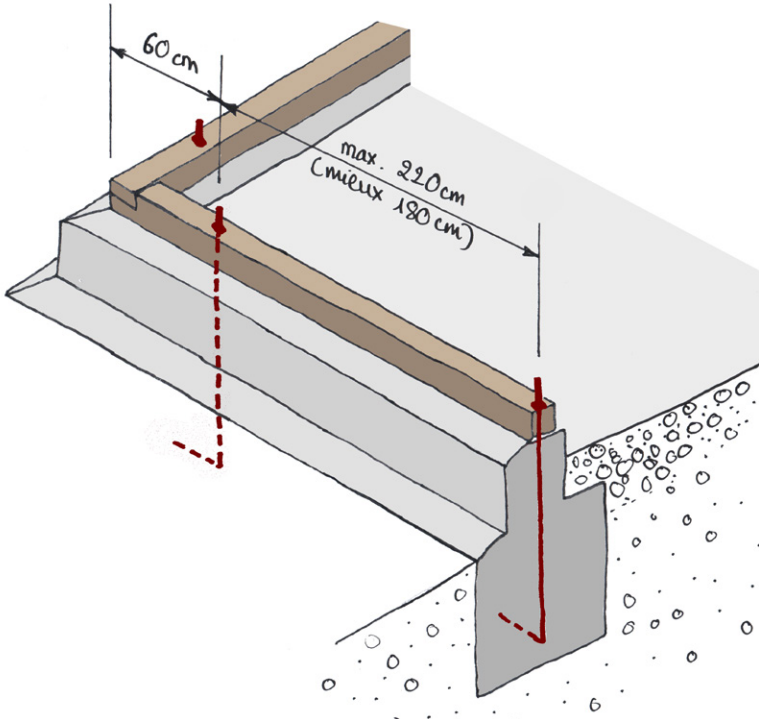
6.4. Ancrage de la lisse basse

La lisse basse est un des éléments les plus importants de la structure. Elle permet de ceinturer le bâti (hormis au niveau des portes) et de faire la liaison entre le soubassement et les murs. Posée sur le soubassement et ancrée aux fondations, elle forme aussi chaînage pour le soubassement.

L'ancrage peut se faire par l'intermédiaire de **tiges filetées** métalliques ou de **fers à béton** ancrés dans la fondation. D'autres solutions sont possibles, à faire valider par les organismes compétents.

Le diamètre de ces tiges dépend de la charge du bâti :

- Bâtiment à 1 niveau : Ø 3/8"
- Bâtiment à 2 niveaux : Ø 1/2"



Règles de positionnement et de mise en œuvre :

- Les tiges sont disposées à **60 cm des angles** des murs et sont **espacées de 2,20 m maximum et 1,80 m de préférence** ;
- Si les tiges ne sont pas galvanisées, les traiter avec de la peinture antirouille ;
- Les tiges sont **repliées dans la fondation** sur 20 à 30 cm formant un L ;
- Assurer un **positionnement précis** des tiges en plaçant une ficelle d'alignement et vérifier leur **aplomb** pendant la mise en œuvre des fondations et du soubassement ;
- Pour éviter la corrosion, les tiges ne doivent pas être en contact avec les pierres, mais doivent bien être **entourées de mortier ciment** ;
- Pour les tiges filetées, fixation à la lisse basse avec une rondelle plate et un écrou ;
- Pour les fers à béton, fixation à la lisse basse en repliant le fer sur le bois sur 5 cm environ.

6.5. Lisse basse et lisse haute

Les lisses basse et haute relient l'ensemble des murs du bâtiment, périphériques ou de refend.

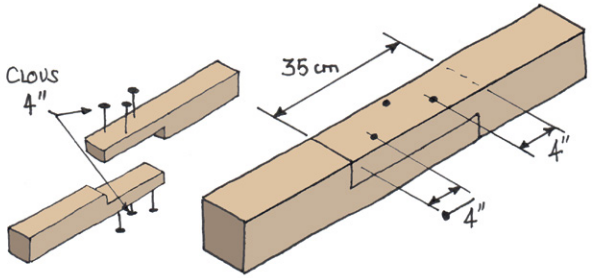
Elles doivent être en pièces de bois de section **2"x4" brut minimum, de préférence en 4"x4"** (brut ou préparé).

Pour assurer une bonne stabilité de la structure, des **renforts d'angles** horizontaux sont placés sur la lisse haute à tous les angles. Leur longueur intérieure est de 85 cm minimum. Au niveau d'un mur de refend, les renforts peuvent être placés d'un seul côté.

Les **assemblages à mi-bois** doivent être de bonne qualité pour pouvoir reprendre les efforts horizontaux notamment.

La mise en œuvre doit respecter les règles suivantes :

- **Longueur d'assemblage minimum** de 35 cm pour du 4"x4" et de 25 cm pour du 2"x4".
- Le **positionnement des clous** doit respecter le schéma ci-contre ;
- Pas d'assemblage au niveau :
  - des ancrages de la lisse basse (tiges) ;
  - des poteaux et potelets ;
  - des murs de séparation ;
  - des assemblages des renforts d'angles.



Longueur (pouces)	Diamètre (mm)	Gauge
1 1/2"	2.04	14
2"	3.33	11
2 1/2"	3.33	10
3"	3.77	9
4"	4.95	6
5"	4.88	6

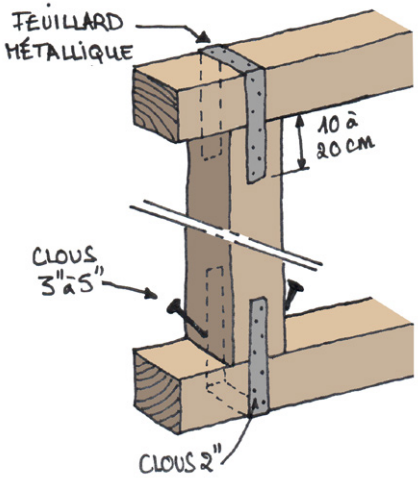
Tableau de caractérisation des clous

6.6. Poteaux et potelets

L'ossature principale est constituée des ceintures basse et haute et des poteaux. Les **poteaux sont en 4"x4** et en **2x4"** minimum.

L'entraxe des poteaux définit la largeur des panneaux. La **largeur standard des panneaux est de 90 cm**, la largeur maximale imposée est de 100 cm. L'ossature doit respecter les règles de positionnement suivantes :

- Poteaux 4"x4" aux angles, niveau des murs de refend et des ouvertures.
- Un poteau 4"x4" chaque 4 panneaux remplis maximum et chaque 2 panneaux maximum pour le rez-de-chaussée du bâtiment à étage.



La **liaison des poteaux avec les lisses basse et haute** est assurée par du **feuillard métallique** (gauge 20, 18 ou 16) cloué en U sous ou sur les lisses et de part et d'autre des poteaux. Cette solution permet d'éviter l'arrachement en cas de séisme ou de cyclone et de donner une souplesse aux liaisons. Selon le type de feuillard et le nombre de clous (4 clous 2" minimum), la longueur minimale d'accroche du feuillard sur les poteaux peut être de 10 cm. Les poteaux sont maintenus sur les lisses basse et haute par des clous 3" à 5" selon la dimension du poteau.

La **hauteur des poteaux** dépend de la dimension maximale des croix (120 cm en hauteur) mais il est recommandé de ne pas aller au-delà de 3 m de hauteur pour les poteaux. Au-delà, il convient de faire valider les choix par des organismes compétents.

6.7. Particularités de l'étage et plancher intermédiaire

Pour réaliser un étage, le principe est de poser une boîte sur une autre boîte, reliées entre elles par une liaison flexible. Pour cela **chaque niveau doit présenter un chaînage haut et bas**. La lisse basse de l'étage repose sur les poutres du plancher qui reposent elles-mêmes sur la lisse haute du rez-de-chaussée. Il est recommandé que les **poutres dépassent de 5 cm minimum à l'extérieur** afin de laisser une plus grande marge de mouvement au plancher.

La liaison entre la lisse basse de l'étage et la lisse haute du rez-de-chaussée est assurée par des tiges filetée Ø 3/8". Le positionnement de ces tiges respecte les mêmes règles que les tiges d'ancrage de la lisse basse (cf. § 6.4).

La **section des poutres** du plancher dépend de la **portée, de l'entraxe des poutres et de la destination du bâtiment** (poids des équipements)**.** Il est fortement recommandé d'**aligner les poutres avec les poteaux** du premier niveau, afin que les poteaux de l'étage soient directement alignés avec les poteaux du rez-de-chaussée. Les **entretoises** placées entre les poutres permettent d'éviter leur flambement.

Pour des panneaux de largeur 90 cm, l'entraxe recommandé entre poutres est de 45 cm (un demi-panneau) pour un plancher 1". Le tableau ci-contre donne une indication des sections minimales des poutres selon la portée.

Portée	Section des poutres
4 m à 5,30 m	2"x8"
2,50 m à 4 m	2"x6"
< 2,50 m	2"x4"

6.8. Ossature secondaire / Contreventement

La structure doit être nécesairement **contreventée** dans les panneaux d'angle.

Ici, les panneaux sont tous constitués de **croix de Saint-André** (croix en forme de X) assurant le **contreventement de la structure** et la création de **petits espaces confinés triangulaires** permettant le remplissage en maçonnerie de pierres ou de débris de béton taillés.

Selon la hauteur des murs, les panneaux auront **2 ou 3 croix superposées** qui peuvent être de hauteurs variables.

Les croix sont réalisées en planches 1"x4" et peuvent être assemblées selon deux méthodes :

- **Assemblage avec entaille à mi-bois** : les deux diagonales sont continues. Cette solution demande une certaine précision d'ajustement pour éviter les jeux aux angles et au croisement.

- **Assemblage avec une diagonale continue et une diagonale en deux morceaux** : Les deux morceaux de diagonale sont assemblés au centre et sont légèrement décalés pour permettre de les clouer. Cette solution est simple à réaliser et engendre moins de risques de jeux.

Des **raidisseurs horizontaux** (ou étrésillons) en planches 1"x4" séparent les croix.

6.9. Ossature de la galerie

De manière générale, il existe deux types de galerie :

- La **galerie en perron**, dont la toiture est continue avec la toiture principale. La lisse haute du bâtiment est continue sur la galerie pour supporter la toiture et ceinturer l'ensemble du bâtiment. Elle repose sur des poteaux 4"x4", de préférence, espacés tous les 2 à 3 m selon le type de contreventement.

- La **galerie avec toiture en casquette**, dont la toiture n'est pas solidaire de la toiture principale. Une lisse haute repose sur les poteaux et reprend les charges des chevrons de la toiture. On peut disposer des poteaux 4"x4" aux angles, et des poteaux intermédiaires en 2"x4" espacés tous les 2 à 3 m selon le type de contreventement..

Dans les deux cas, l'ossature de la galerie ne présente pas nécessairement de lisse basse et les poteauxpeuvent être directement fixés au soubassement (cf. § 5.4).

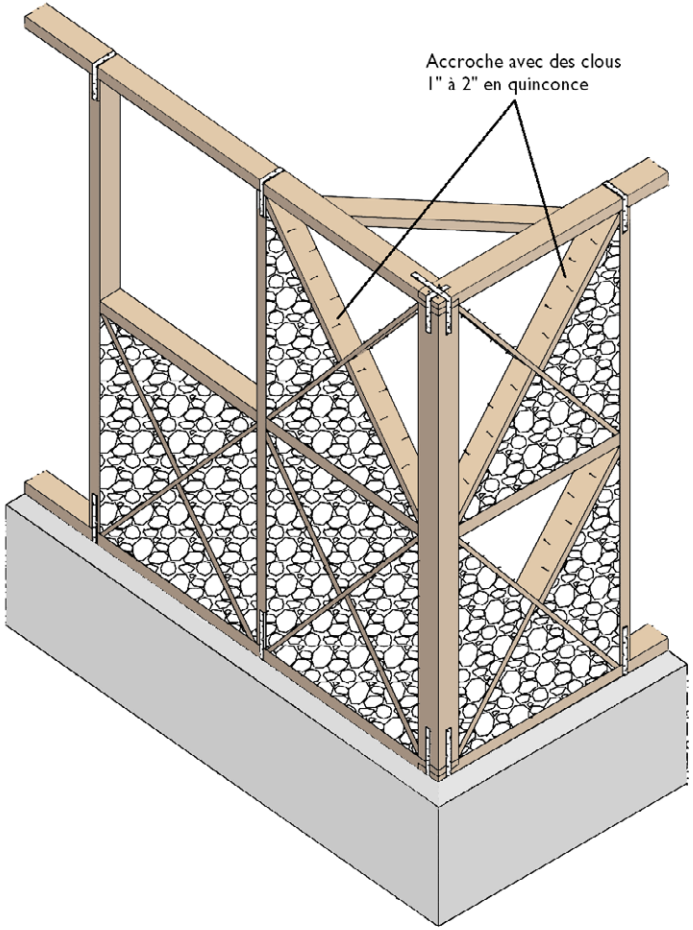
Les poteaux de la galerie doivent être **contreventés** et plusieurs solutions sont possibles. De simples renforts d'angles reliant les poteaux à la lisse haute suffisent. Il est possible de placer des croix de Saint André entre les poteaux réalisées avec des planches 1"x4", d'une hauteur de 30 à 60 cm environ. Ces contreventements peuvent être plus ou moins ouvragés.

La **maçonnerie de pierres, de débris de béton taillés ou de briques** est **bloquée dans des petits espaces triangulés** offert par les croix de Saint André. Le remplissage assure la stabilité de la structure en évitant aux pièces de bois de flamber en cas de secousses.

La maçonnerie de remplissage doit respecter certaines règles et recommandations :

- Des **clous 1" à 2"** sont disposés sur les diagonales en quinconce pour permettre l'**accroche du remplissage**.
- Pour la maçonnerie réalisée au mortier de ciment, il est possible de placer du **fil de fer barbelé** croisé pour retenir la maçonnerie et offrir plus de sécurité.
- La **dimension des pierres ou débris** ne doit pas être trop grande, autour **de 10 à 15 cm**.
- Les éléments doivent être **maçonnés bien à plat**.
- Les joints doivent être fins. La bonne proportion de mortier dans le remplissage se trouve autour de **¾ de pierres ou débris pour ¼ de mortier.**
- La maçonnerie peut être réalisée au **mortier de terre fibré, de chaux ou au mortier ciment** faiblement dosé. De préférence, choisir un mortier de terre fibré car il permet de mieux dissiper l'énergie du séisme par des frottements et les éléments se déliteront un à un et non pas en un seul bloc.

Afin de faciliter la mise en œuvre, un coffrage est placé d'un côté du mur.



8. Charpente

8.1. Types de toiture / Principes paracycloniques

- Principes généraux

Pour réduire les forces d'aspiration sur la toiture, la pente du toit ne doit pas être inférieure à 25° (≈ 47%) et de préférence autour de 30° (≈ 58%). Le choix d'une pente de 50 % (27°) permet un calcul plus simple et une assimilation plus aisée du concept par les artisans.

Les débords de toiture ne devraient pas dépasser 35 cm pour une couverture en tôle et 45 cm pour une couverture en tuiles.

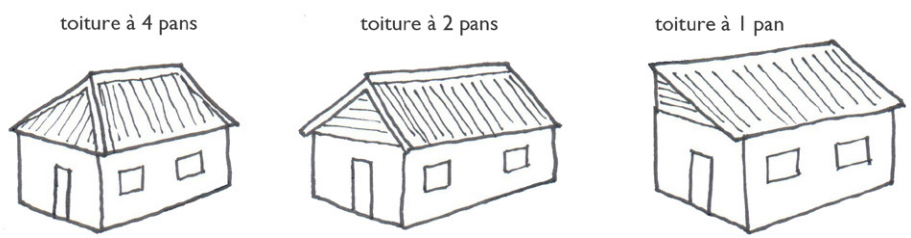
Afin de résister aux cyclones, l'ensemble des éléments de la toiture doivent être correctement liés de façon à résister à l'arrachement.

- Forme de la toiture

La **toiture à 4 pans** est plus recommandée car elle présente une meilleure stabilité et un meilleur comportement face aux cyclones.

La **toiture à 2 pans** est cependant plus économique avec une charpente plus simple mais elle nécessite un bon contreventement des fermes. Les murs pignons sont aussi moins bien protégés de la pluie.

La toiture plate en béton, lourde et rigide, est proscrite pour des constructions de ce type en zone sismique.



- Types de couverture

En Haïti, la **couverture en tôle** est la solution la plus courante et souvent la plus économique. Une alternative est la **couverture en tuile**. La tuile de terre cuite est la plus durable mais la moins économique ; cette solution ne sera pas développée ici. La tuile micro béton est aussi produite en Haïti et offre une alternative intéressante car peu coûteuse.

- Toiture de la galerie

La toiture de la galerie offre une grande prise au vent, c'est pourquoi il est recommandé de la construire de manière indépendante au reste de la toiture ("en casquette") (cf. § 6.9).

Si le choix s'est porté sur une toiture "perron", en continuité de la toiture principale, il est nécessaire de placer un faux-plafond horizontal permettant de réduire la prise au vent.

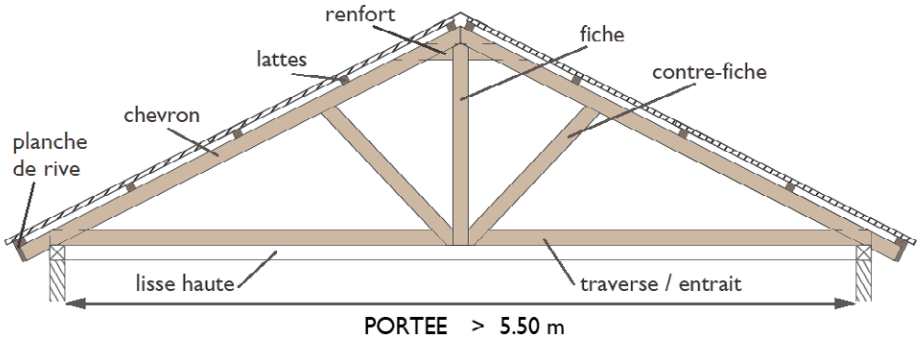
- Planches de rives

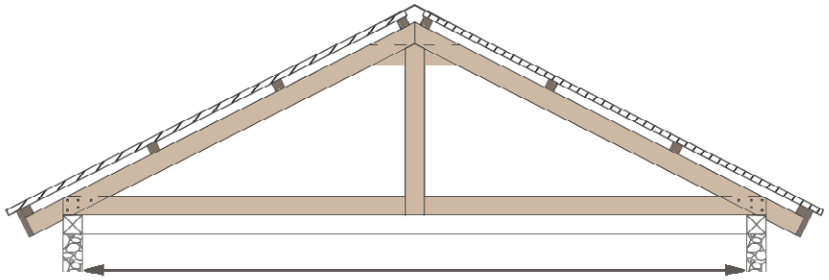
Dans la culture locale haïtienne on rencontre régulièrement des planches de rives larges et chantournées décoratives. Il est prouvé que ce détail participe à la réduction du risque d'arrachement de la toiture en cas de vents violents. Les découpes permettent en effet de "casser" la turbulence du vent.

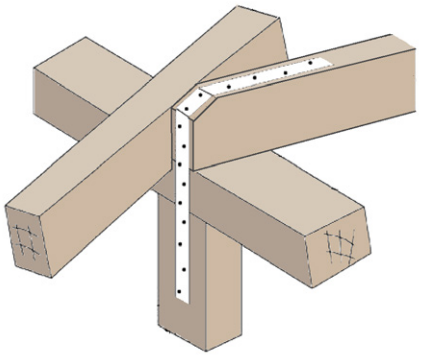
8.2. Fermes

Il n'y a pas une méthode unique pour réaliser la charpente cependant le respect de certaines recommandations permet d'offrir une bonne résistance parasismique et paracyclonique.

- Pour des portées inférieures à 6,50 m, on peut réaliser des fermes simples en bois 2"x4". Une pente de 50 % est plus simple à réaliser (angle 27°)
- Si la portée est supérieure à 5,50 m, placer des contre-fiches (à 1/3 de la longueur du chevron depuis le faîtage).
- L'espacement des fermes dépend de la section des lattes, du poids de la couverture et de la pression du vent. De manière générale, pour des lattes en 2"x2" préparées, on ne dépassera pas un entraxe entre fermes de 1,35 m pour une toiture en tuiles micro-béton et de 1,80 m pour une toiture en tôle.
- Placer un renfort horizontal pour bien relier les chevrons au niveau du faîtage.
- Réaliser une entaille dans le chevron au niveau de la lisse haute afin d'offrir une meilleure stabilité à la structure.
- Ancrer les fermes sur la lisse haute à l'aide d'éléments métalliques. Par exemple, on peut placer du feuillard métallique reliant la traverse (l'entrait) à la lisse haute et si possible au poteau.
- Pour une toiture à 2 pans, contreventer les fermes par des pièces de 1"x4" (brut) ou 2"x2" minimum reliant les poinçons ou les contre-fiches entre elles.







8.3. Lattes

- Pour une toiture en tôles

Utiliser de préférence des lattes 2"x2" espacées de 85 cm maximum. La première latte doit être à une distance du faîtage calculée selon la largeur de la tôle faîtière (cf. § 9.1). On doit placer une latte au niveau du recouvrement de deux tôles. Pour éviter l'arrachement, les lattes doivent être toutes ligaturées aux chevrons avec du fil à ligature gauge 14 ou 16.

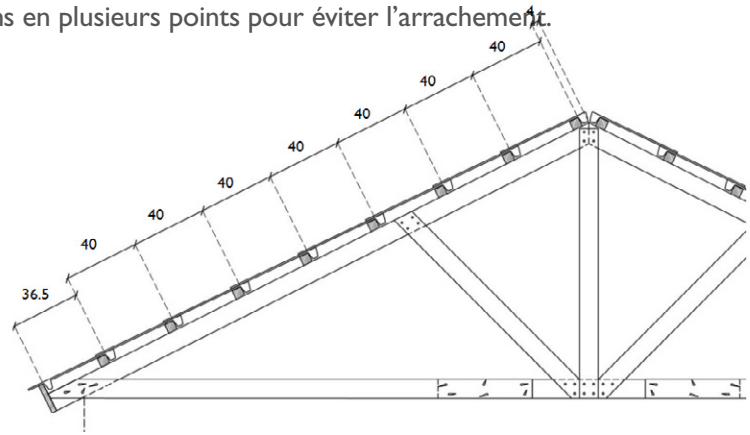
Des lattes de 1" d'épaisseur peuvent être utilisées, dans ce cas, l'entraxe des fermes ne dépassera pas 1,20 m.

- Pour une toiture en tuiles micro-béton (50 cm x 25 cm)

Utiliser des lattes 2"x2" espacées d'exactement 40 cm en commençant à 4 cm du faîtage. La planche de rive larmier se cloue au bout du chevron à :

- 36,5 cm du bord supérieur du 1er liteau si la planche de rive est perpendiculaire aux chevrons
- 30 cm si la planche de rive est verticale.
- 1 cm plus haut que les lattes.

La longueur des lattes dépend du nombre de tuiles. Les lattes sont ligaturées aux chevrons en plusieurs points pour éviter l'arrachement.



8.4. Charpente de la galerie

Pour une galerie dont la toiture est en casquette de portée raisonnable, la charpente composée de chevrons de dimensions 2"x2" ou 2"x4" peut reposer et être fixée sur la lisse haute mais ne doit en aucun cas être clouée ou ligaturée à la charpente principale du bâtiment. Les chevrons sont fixés en partie basse sur une lisse haute reposant sur les poteaux de la galerie.

9.1. Couverture en tôle

Qualité des tôles : L'épaisseur minimum recommandée est de 0,35 mm (≈ 27 gauge).

Le tableau ci-contre donne les correspondances entre les valeurs en gauge et l'épaisseur de la tôle.

Dénomination (AWG)	Epaisseur (0,1mm)
24	51
25	45,5
26	40,4
27	36
28	32
29	28,7
30	25,4
31	22,6

Recouvrement des tôles : 20 cm dans le sens de la pente ; 10 cm environ dans le sens horizontal (une ondulation).

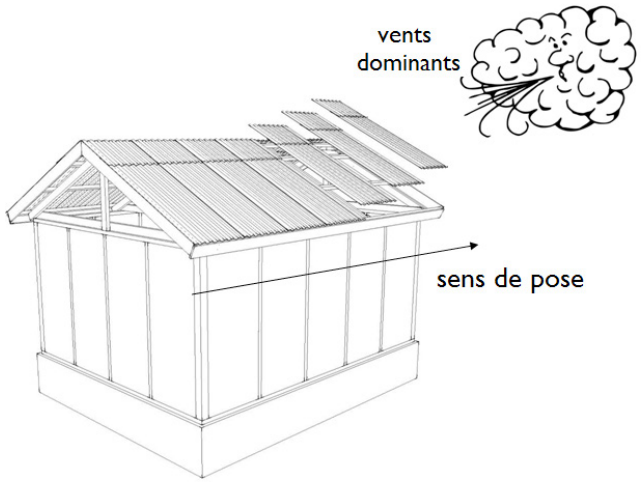
Pose et fixation des tôles : Elle commence du côté opposé au sens des vents dominants.

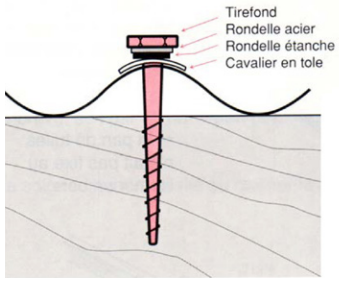
Utiliser de préférence des vis à tôle plutôt que des clous à tôle. La pénétration des vis dans les lattes doit être de 40 mm minimum, d'où la nécessité d'utiliser des vis 2 ½" ou 3".

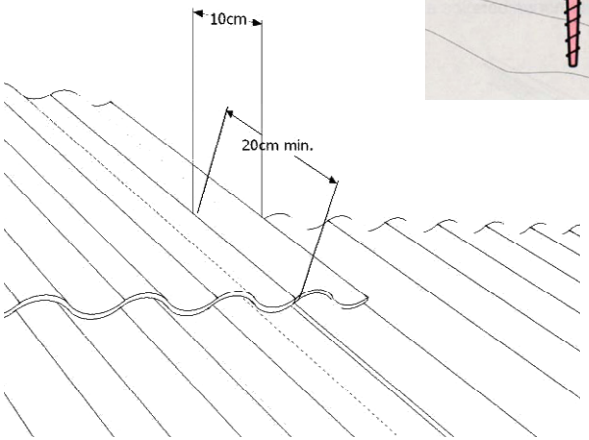
Placer des vis sur chaque latte au niveau des recouvrements. Ensuite cela dépend du type de tôle, notamment :

- tôle ondulée : toutes les 2 ondulations au niveau des rebords et de la faîtière et toutes les 3 ondulations pour le reste.
- tôle trapèze : toutes les ondulations au niveau des rebords et de la faîtière et toutes les 2 ondulations pour le reste.

La tôle faîtière est de préférence de meilleure qualité que la tôle et doit mesurer environ 30 à 40 cm de large. La fixation sur la première latte doit se faire à moins de 7 cm du bord de la faîtière pour éviter l'arrachement. Le recouvrement entre deux tôles faîtières doit être de 15 cm.







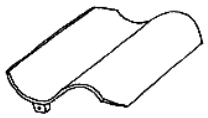
9.2. Couverture en tuiles micro béton

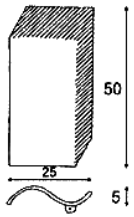
La couverture en tuiles micro béton (ou tuile de mortier vibré) est une solution intéressante à plusieurs niveaux :

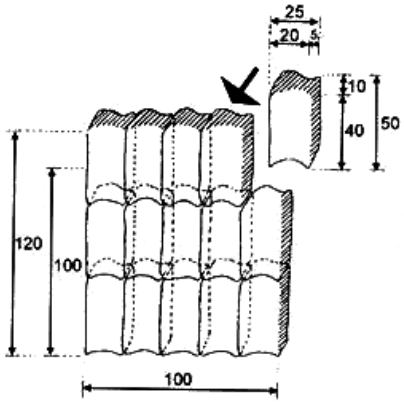
- Poids relativement faible : 2,7 kg / tuile – 34 kg / m² ;
- Résiste aux tempêtes de vent (possibilité de fixer chaque tuile à la charpente, la fixation résiste à 20 kg de charge) ; un meilleur comportement face aux cyclones (les tuiles supportent un certain mouvement permettant de dissiper la pression du vent) ;
- Bonne résiste aux chocs et aux charges ponctuelles ;
- Durabilité, bonne étanchéité, bonne acoustique, bon confort thermique ;
- Facilité et rapidité de pose ;
- Economique.

Les tuiles disponibles actuellement en Haïti présentent les caractéristiques suivantes :

- Dimensions : 25 cm x 50 cm
- Surface utile : 20 cm x 40 cm
- Environ 12,5 tuiles / m²

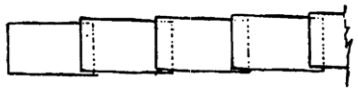




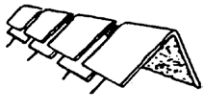


La pose des tuiles commence en bas à gauche. Les tuiles sont posées par "colonne". On utilise un cordeau, une règle métallique ou une pièce de bois bien droite pour aligner les tuiles que l'on décale à chaque fois de 20 cm une fois la "colonne" posée. Les tuiles sont fixées aux lattes avec du fil à ligaturer. Il est recommandé de fixer toutes les tuiles de rive et une tuile sur deux ensuite.

Les tuiles faîtières sont des tuiles en "V" de 25 cm de large. Avec un recouvrement de 5 cm d'une tuile sur l'autre on compte 5 tuiles / ml. Les tuiles possédant un tenon de fixation peuvent être directement posée et fixée avec du fil à ligaturer aux lattes supérieures. Les tuiles sans tenon sont posées au mortier de ciment. Elles peuvent êtres posées par chevauchement progressif (a) ou par chevauchement double (b).



a



b

10. Sol

10.1. Remblai et sol intérieur du RdC

Le remblai intérieur doit être compacté en plusieurs couches de 20 cm maximum de granulométrie dégressive (du remblai grossier au gravier). Une chape de ciment (300 kg/m^3) de 5 cm environ est coulée ensuite. Elle pourra recevoir un éventuel revêtement de finition.

Il est recommandé de prévoir un joint de dilatation tous les 3 m.

10.2. Plancher de l'étage

Le plancher de l'étage est de préférence en bois (plancher en bois ou plywood ou autre solution légère équivalente).

La structure décrite n'est pas adaptée à supporter une dalle en béton armé car son poids important et sa rigidité est néfaste en cas de séisme.

10.3. Sol extérieur / Abords / Trottoir

Le pavement extérieur d'une maison doit :

- Renforcer la protection du bas des murs et des fondations contre les éventuelles infiltrations d'eau qui, à long terme, peuvent altérer la structure du mur et fragiliser la construction.
- Canaliser et évacuer les eaux pluviales du toit et des abords le plus loin possible du bâtiment.

L'aménagement des abords consiste à réaliser sur toute la périphérie du bâtiment :

- Un talutage selon une petite pente de drainage d'environ 2%.
- Une rigole située en bout de cette pente, destinée à évacuer les eaux de ruissellement. La pente de cette rigole périphérique est réglée en fonction du point le plus bas du terrain, le plus loin possible de la construction.

Ce système de drainage doit être entretenu régulièrement, si possible avant la saison des pluies.

Il est possible de poser un pavement ou un dallage sur le remblai aux abords immédiats des murs (carreaux de terre cuite, pierres plates...). Cet aménagement doit être perméable afin de permettre l'évaporation de l'humidité contenu dans le sol.

11. Revêtements des murs

11.1. Selon le mortier utilisé pour le remplissage (terre, chaux ou ciment), il peut être utile de rejointoyer ou d'enduire à la chaux ou au ciment.

L'enduit n'est pas nécessaire mais permet de protéger le remplissage. Il peut être réalisé en terre, à la chaux ou au ciment.

Afin de prévenir les fissures naturelles entre l'ossature et l'enduit, il est recommandé de passer la truelle à ce niveau en chanfreinant l'enduit.

Dans le cas d'un enduit recouvrant tout ou partie de l'ossature, un grillage galvanisé ou une toile sont recommandés pour prévenir des fissures au niveau de l'ossature bois.

12. Exemples de realisations

Pépinière d'entreprises à Corail, Croix-des-Bouquets
Achevée en janvier 2012

3 bâtiments destinés à loger des petites entreprises encadrées par Entrepreneurs du Monde

Technique constructive:
- ossature bois
- remplissage avec les débris du séisme+ mortier de terre stabilisée
- enduits de finition et peinture à la chaux
- deux toitures en tôles trapèze, une toiture en tuiles de mortier vibré

Point fort du projet:
- Ces 3 bâtiments, les premiers construits par Entrepreneurs du Monde en Haïti, ont permis de former des artisans et de valider la qualité du mode de construction

Maison d'habitation à Carrefour-Feuilles, Port-au-Prince
Achevée en septembre 2012

Une pièce avec galerie, surface 22m²

Technique constructive:
- ossature bois
- remplissage avec les débris du séisme+ mortier et enduits ciment
- toiture en tuiles de mortier vibré

Point fort du projet:
Adaptation de la technique ossature bois au besoin de sécurité

Maison d'habitation à Croix-Deprez, Port-au-Prince
Achevée en octobre 2012

2 chambres avec galerie, surface intérieure 48,5m²

Technique constructive:
- ossature bois
- remplissage avec les débris du séisme + mortier et enduits ciment
- détails de finition de qualité supérieure (peinture, menuiserie)

Point fort du projet:
Une construction très qualitative en milieu urbain

3 bâtiments communautaires dans des quartiers défavorisés de Port-au-Prince (projet PNUD)
Achevés début 2014

2 bâtiments à étage, un bâtiment de plain-pied, surface 50m² par bâtiment

Technique constructive:
- structure mixte ossature bois et maçonnerie chaînée pour les bâtiments à étage
- remplissage avec des roches et des matériaux de récupération
+ mortier et enduits ciment
- une toiture en tuiles de mortier vibré, 2 toitures en tôle trapèze

Points forts du projet:
- Diversification et complémentarité des techniques de constructions utilisées
- Construction sur des terrains difficiles (enclavés, forte pente)

Ecole de Grand-Boulage, 4e section communale de Thomazeau
Achevée en septembre 2014

Une école à étage de 244m², comprenant 3 salles de classe, un pôle administratif et deux galeries

Technique constructive:
- ossature bois
- remplissage avec des petites pierres + mortier de terre fibrée
- enduits de finition à la chaux
- toitur en tuile de mortier vibré
- planchers incluant des caissons d'isolant fibreux (isolation phonique)

Point fort du projet:
Une construction de plus grande échelle incluant des détails techniques nouveaux (planchers isolés, forme de la toiture, etc.)

12. Références Bibliographiques

- **Calendriers 2011 et 2012, Quelques règles pour construire des maisons plus solides**, Centre de Compétence Reconstruction (CCR) de la Direction du Développement et de la Coopération Suisse (DDC) en Haïti.
- **Compliance Catalogue: Guidelines for the Construction of Compliant Rural Houses,** ERRA, Version 6 Mars 2008, Earthquake Reconstruction and Rehabilitation Authority, 2008.
- **Construire parasismique : risque sismique, conception parasismique des bâtiments,** Zacek Milan, Ed. Parenthèses, 1996.
- **Cyclone resistant buildinng architecture,** Ankush Agarwal, UNDP, Disaster Risk Management Programme, 2007.
- **Dhajji Conctruction for one and two storey earthquake resistant houses: A Guidebook for Technicians and Artisans**, Tom Schacher, Dr. Qaisar Ali, Direction du Developpement et de la Cooperation Suisse (DDC) / UN Habitat / Earthquake Reconstruction and Rehabilitation Authority ERRA, 2009.
- **Enseignement de la construction à Haïti, Vol 2 Fiches techniques, Section S2-B : Mur en ossature bois et remplissage en pierre, clissage et bloc de terre**, CRAterre-ENSAG, 2011.
- **Enseignement de la construction en zone tropicale humide, Vol 2 Fiches techniques Section S1 : Production des matériaux,** CRAterre-ENSAG, 2004.
- **Enseignement de la construction en zone tropicale humide, Vol 2 Fiches techniques, Section S2 : Maçonnerie en bloc de terre crue**, CRAterre-ENSAG, 2004.
- **Guide de bonnes pratiques pour la construction en maçonnerie chaînée en Haïti**, MTPTC - MICT, 2010.
- **Guide de construction parasismique : Torchis**, Wilfredo Carazas Aedo, Alba Rivero Olmos, MISEREOR, Villefontaine : CRATerre, 2002.
- **Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction**, International Association for Earthquake Engeneering, NICEE, 2004.
- **Guidelines for earthquake resistant reconstruction and new construction of masonry buildings in Jammu & Kashmir state**, Anand S. Arya, UNDP Disaster Risk Management Programme, 2005.
- **La préservation des maisons de style gingerbread d'Haïti, Rapport de mission après le séisme de 2010**, World Monuments Fund, 2010.
- **Leepa - Guidelines for the compliant construction of Leepa-type timber post and beam houses**, UN Habitat / Earthquake Reconstruction and Rehabilitation Authority ERRA,
- **Maçonnerie Chaînée pour maisons de un à deux niveaux : Guide pour techniciens et artisans**, Tom Schacher, Direction du Developpement et de la Cooperation Suisse (DDC), 2009.
- **Série pédagogique TMV, outil n° 24, La Charpente**, Paul Gut, SKAT, SKAT, Suisse, 1998.
- **Tuiles en fibromortier : Procédé de production et pose en toiture**, BIT, 1988

Remerciements

Ce guide technique a été élaboré par Florie Dejeant et augmenté par l'équipe Tulio Mateo et Carolyn Garcia, en collaboration avec CRATerre, dans le cadre du programme Habitat d'Entrepreneurs du Monde

dernière mise à jour: novembre 2014

Pour leurs apports techniques :

Le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC)

Agence Nationale de la Recherche

Le laboratoire CRAterre de l'Ecole Nationale Supérieure dArchitecture de Grenoble, et particulièrement Philippe Garnier, Olivier Moles, Alexandre Douline

Le laboratoire 3S-R de l'Université Joseph-Fourrier et spécialement Florent Vieux-Champagne.

Misereor et en particulier les consultants Sophie Marongiu, Christian Belinga, Julien Hosta, Elsa Cauderay.

Les organisations de la PADED (Plateforme d'Agro écologie et de Développement Durable) en Haïti et notamment l'EMPPMH (Encadrement des petits Paysans des Morrnes et des Plaines d'Haïti).

La Direction du Développement et de la Coopération Suisse (DDC) en Haiti et particulièrement Tom Schacher.

Pour leur soutien financier :

Le Programme des Nations Unies pour le Développement en Haïti (PNUD)

Le Crédit Agricole Solidarité Développement (CASD),

Le Bureau International du Travail en Haïti,

Le Secours Catholique Caritas France

La Fondation Abbé Pierre

Misereor